

## PROJEKT KASKADY MAŁYCH SUCHYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA OCHRONY PRZED POWODZIĄ TERENÓW MIEJSKICH

Rafał Antoszewski<sup>1</sup>, Katarzyna Jakubiec<sup>1</sup>, Kinga Witek<sup>1</sup>, Michał Domagała<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tractebel Engineering S.A., ul. Dulęby 5, 40-833 Katowice, e-mail: rafal.antoszewski@tractebel.engie.com, katarzyna.jakubiec@tractebel.engie.com, kinga.witek@tractebel.engie.com, michal.domagala@tractebel.engie.com

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono problematykę projektowania suchych zbiorników retencyjnych o pojemności około 100 tyś. m<sup>3</sup>, na obszarach silnie zurbanizowanych z przekształconymi antropogenicznie ciekami naturalnymi z licznymi wylotami kanalizacji deszczowej i dużymi uszczelnionymi powierzchniami spływu. W szczególności przedstawiono problematykę hydrologicznych podstaw projektowania w oparciu o dane meteorologiczne w zlewniach niekontrolowanych posterunkami wodowskazowymi ze szczególnym uwzględnieniem dostępnych narzędzi komputerowego wspomaganie modelowania procesów hydrologicznych (HEC-Hms, HEC-Ras) oraz dostępnych do wykorzystania modeli matematycznych i statystycznych opad-odpływ, tu praktyczne zastosowanie metody SCS-CN oraz modelu liniowego kaskady zbiorników Nasha do transformacji opadu efektywnego w odpływ powierzchniowy.

**Słowa kluczowe:** powódź, zbiornik, kaskada, hydrologia, tereny zurbanizowane, model opad-odpływ

### PROJECT CASCADES OF SMALL DRY RESERVOIRS FOR FLOOD PROTECTION OF URBAN AREAS

#### ABSTRACT

The paper presents the problem of designing an open reservoirs with a capacity of about 100 000. m<sup>3</sup> in heavily urbanized areas of anthropogenically transformed natural watercourses with numerous outlets drainage and large sealed surfaces runoff. In particular the issues of the hydrological basics design based on the meteorological data in the catchment uncontrolled water level checkpoints with particular emphasis on the tools of computer-aided modeling of hydrological processes (HEC-HMS, HEC-RAS) and available for use mathematical models and statistical rainfall-runoff, this practical the method SCS-CN and linear model cascade tanks Nash to transform the effective precipitation in surface runoff.

**Keywords:** flood, reservoir, cascade, hydrology, urban areas, rainfall-runoff

#### WSTĘP

Mimo ciągłej rozbudowy systemu osłony hydrometeorologicznej znaczna liczba zlewni, zwłaszcza małych, jest wciąż niekontrolowana, a więc nie ma zarejestrowanych długoletnich ciągów pomiarowych opadów i przepływów. W celu realizacji inwestycji hydrotechnicznych zwłaszcza związanych z ochroną przeciwpowodziową w takich zlewniach niezbędne jest pozyskanie danych hydrologicznych metodami pośrednimi. Mimo że do celów projektowych często wystarcza znajomość samego przepływu w kulminacji, to jednak hydrogram jest pomocny w weryfikacji

założeń projektowych i warunków eksploatacji wybudowanych obiektów czy w projektowaniu stref zagrożenia powodziowego. Do powszechnie stosowanych na świecie metod obliczania hydrogramów odpływu należą modele hydrologiczne typu opad-odpływ, pozwalające na symulacje odpływu ze zlewni oraz symulacje pracy zbiorników retencyjnych.

Przedmiotem artykułu jest przedstawienie propozycji schematu analiz hydrologiczno-hydraulicznych w zakresie realizacji inwestycji ochrony przeciwpowodziowej w dolinie rzek o zlewni nie kontrolowanej, silnie zurbanizowanej za pomocą metod pośrednich.

## METODYKA PRAC

Ze względu na charakter chronionego obszaru wszystkie budowle hydrotechniczne zaliczono do III klasy ważności zgodnie z [D.U. z 2007r poz. 579 nr 86]. Na potrzeby projektowania konieczne było wyznaczenie następujących parametrów hydrologicznych:

- $Q_{10\%}$  – przybliżony przepływ dla wody brzegowej koryta cieków
- $Q_{1\%}$  – woda 100-letnia – przyjęty przepływ powodziowy obliczeniowy kaskady zbiorników
- $Q_{0,5\%}$  – woda miarodajna dla budowli upustowych, woda kontrolna wałów przeciwpowodziowych osiedla Bieżanów
- $Q_{0,2\%}$  – woda kontrolna budowli upustowych

Obliczenia wykonano w oparciu o dane meteorologiczne (opady) pozyskane z posterunku obserwacyjnego IMGW Siercza-Wieliczka oraz Atlasu Hydrologicznego 1987. Podstawowym założeniem dla stworzenia systemu ochrony przed powodzią była przyjęta koncepcja budowy szeregu małych suchych zbiorników retencyjnych pracujących w układzie liniowo-równoległym. W trakcie prac wykorzystano następujące oprogramowanie:

- HEC-Ras 5.01 – jedno i dwu wymiarowy model hydrauliczny przepływu; U.S. Army Corps of Engineers (USACE)
- HEC-Hms 4.1 – model opad-odpływ; U.S. Army Corps of Engineers (USACE)
- Excel – arkusz kalkulacyjny pakietu Microsoft Office 2010
- Autodesk AutoCAD Civil 2016

Na potrzeby modelowania hydrologiczno-hydraulicznego wykonano:

- numeryczny model terenu (NMT) metodą skaningu laserowego;
- numeryczne modele proponowanych zbiorników na podstawie NMT (numerycznego modelu terenu) – na podstawie założeń z opracowania pn. „Program zwiększenia zabezpieczenia powodziowego w dolinie rzeki Serafy m. Kraków, gm. Kraków, pow. miasto Kraków, m. Brzegi, Kokotów, Wieliczka, gm. Wieliczka, pow. wielicki”;
- analizę powierzchni zlewni wg. wymagań metody SCS CN;
- hydrogramy opadu jednostkowego wg modelu liniowego kaskady zbiorników Nasha;
- model opad-odpływ dla zlewni objętej opracowaniem (program HEC-Hms);

- jedno i dwu wymiarowy model hydrauliczny doliny rzeki Serafy (wraz z pot. Malinówka) na odcinku obejmującym wszystkie analizowane w opracowaniu lokalizacje zbiorników (5 zbiorników) i sięgającym do km 3+464 rzeki Serafy – ochrona osiedla Bieżanów (program HEC-Ras).

## CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI RZEKI SERAFY

Rzeka Serafa (rys. 1) jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Wisły uchodząc do niej w km 829+785 (dawniej 93+500). Jej długość wynosi 11,635 km a powierzchnia zlewni 74,9 km<sup>2</sup>. Głównymi dopływami Serafy są: potok Krzysz-kowicki (lewobrzeżny), potok Malinówka (lewobrzeżny), potok Drwina Długa (lewobrzeżny), potok Zabawka (prawobrzeżny).

Rzeka posiada typowych źródeł, a swój początek bierze jako wylot kanalizacji deszczowej miasta Wieliczka. Obszar zlewni obejmuje Północny obszar Pogórza Wielickiego. Lewobrzeżny dopływ rzeki Serafy, potok Malinówka uchodzi do Serafy w km 7+951 poniżej mostu na autostradzie A4, odprowadza on wody powierzchniowe z obszarów składowiska odpadów komunalnych w Baryczy. Nienaturalny charakter rzeki Serafy potwierdza również funkcja odprowadzania wód kopalnianych z terenów Kopalni Soli w Wieliczce.

### Założenia teoretyczne wykorzystanego modelu opad-odpływ

Jako podstawowe założenie wyjściowe przyjęto iż opad o prawdopodobieństwie przewyższenia  $H_{p\%}$  wywołuje przepływ w rzece o takim samym prawdopodobieństwie przewyższenia  $Q_{p\%}$ . Jako wyjściowy, ze względu na charakter zlewni, dla tworzenia krzywych hipotetycznych wezbrania wykorzystano model Nasha kaskady zbiorników liniowych oparty na chwilowym hydrogramie jednostkowym IUH (ang. Instantaneous Unit Hydrograph), który jest reakcją zlewni na jednostkowy chwilowy opad efektywny.

### Założenia techniczno-lokalizacyjne

W tabeli 1 zestawiono przekroje obliczeniowe zlokalizowane na terenie zlewni rzeki Serafy wraz z opisem. Na podstawie analizy dostępnych materiałów historycznych i NMT wyznaczono





**Rys. 1.** Lokalizacja zbiorników kaskady – Kraków Bieżanów  
**Fig. 1.** Location of cascade reservoirs – Kraków Bieżanów

**Tabela 1.** Zestawienie przekrojów obliczeniowych  
**Table 1.** Calculation sections

Przekrój obliczeniowy	Rzeka	Km rzeki	Opis
Serafa 1 (Bieżanów)	Serafa	7+284	Istniejący zbiornik
Ujście Malinówki	Serafa	7+951	Lokalizacja ujścia rzeki Malinówki do rzeki Serafy poniżej mostu na autostradzie A4
Serafa 2	Serafa	9+223	Projektowana lokalizacja zapory czołowej
Malinówka 1	Malinówka	0+220	Projektowana lokalizacja zapory czołowej
Malinówka 2	Malinówka	2+320	Projektowana lokalizacja zapory czołowej
Malinówka 3	Malinówka	3+017	Projektowana lokalizacja zapory czołowej

ostateczną lokalizację zbiorników retencyjnych przeciwpowodziowych przy wykorzystaniu dostępnych analiz archiwalnych [AdEko 2011]. Łącznie w kaskadzie będzie pracować 5 zbiorników o pojemności użytkowej całkowitej 401,6 tys. m<sup>3</sup> (tab. 2).

### Budowa modelu opad-odpływ

Model numeryczny opad-odpływ zbudowano za pomocą oprogramowania HEC-Hms 4.1 dla odcinka rzeki Serafa od km 3+464 do źródeł oraz dla jego lewostronnego dopływu – pot. Malinów-

ka na odcinku od km 3+611 do km 0+000 (ujście do Serafy). Na rysunku 2 przedstawiono schemat obliczeniowy modelu.

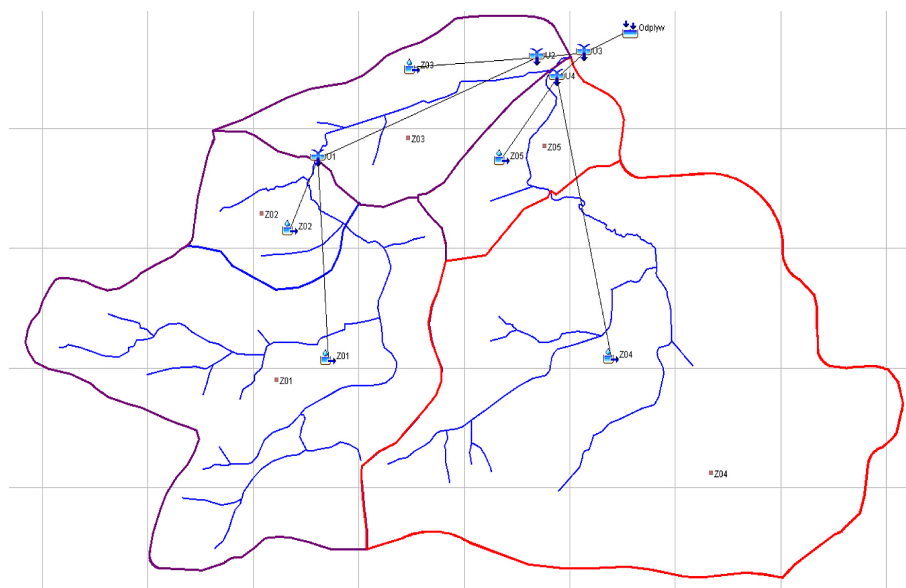
### Dane wejściowe

Za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel na potrzeby modelowania wyznaczono hietogramy opadu całkowitego oraz opadu efektywnego (rys. 3) dla poszczególnych zlewni cząstkowych uzyskano wykresy IUH hydrogramów jednostkowych (rys. 4) dla opadów o maksymalnej sumie dobowej o założonym prawdopodobieństwie przewyższenia.

**Tabela 2.** Projektowane objętości zbiorników retencyjnych kaskady

**Table 2.** Design volumes of retention reservoirs of the cascade

Zbiornik	Kilometr rzeki	NPP	Korona	Objętość NPP
		m npm	m npm	1000 m <sup>3</sup>
Serafa 1 (Bieżanów)	7+284	210,0	210,7	176,0
Serafa 2	9+223	220,2	220,9	27,0
Malinówka 1	0+220	216,5	217,2	115,1
Malinówka 2	2+320	229,5	230,2	47,5
Malinówka 3	3+017	235,0	235,7	36,0
				401,6

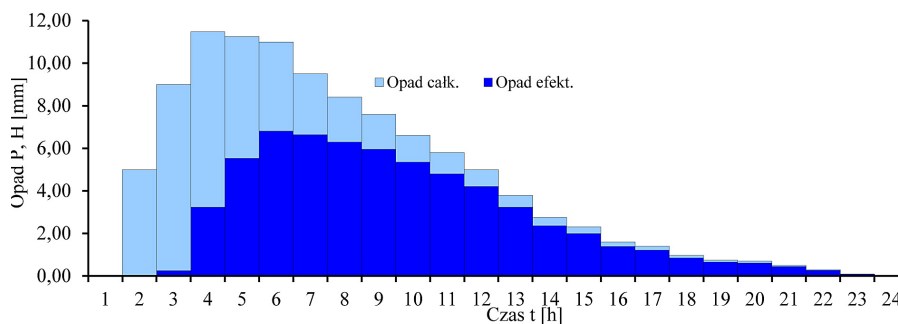


**Rys. 2.** Mapa schematu obliczeniowego zlewni rzeki Serafa do odpływu ze zbiornika Bieżanów

**Fig. 2.** Map of calculation scheme of catchment of Serafa River to outflow from Bieżanów reservoir

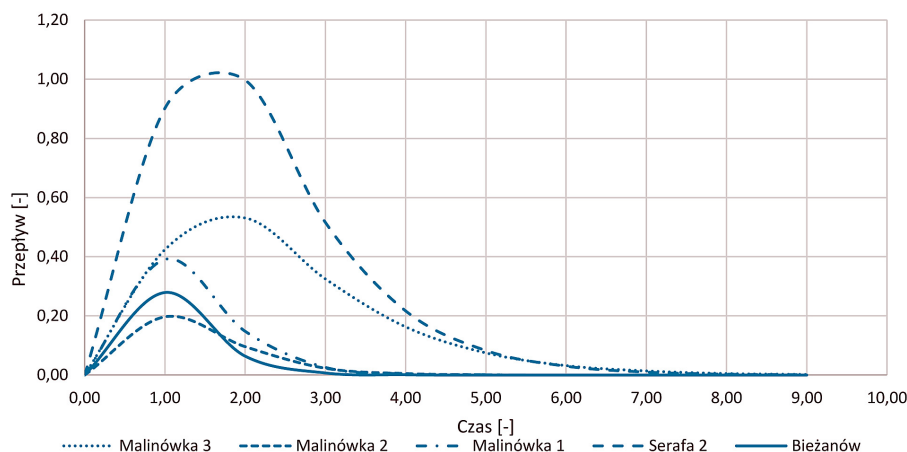
**Objaśnienia:**

- Z01 – zlewnia zbiornika Malinówka 3
- Z02 – zlewnia własna zbiornika Malinówka 2
- Z03 – zlewnia własna zbiornika Malinówka 1
- Z04 – zlewnia zbiornika Serafa 2
- Z05 – zlewnia własna zbiornika Serafa 1 (zb. Bieżanów – istniejący)
- U1 – zapora zbiornika Malinówka 2
- U2 – zapora zbiornika Malinówka 1
- U3 – zapora zbiornika Serafa 1 (Bieżanów – zbiornik istniejący)
- U4 – Serafa do ujścia potoku Malinówka



**Rys. 3.** Przykładowy hietogram opadu dobowego o prawdopodobieństwie przewyższenia p1% opad całkowity i opad efektywny

**Fig. 3.** Sample hietogram of daily precipitation of p1% superiority probability of total and effective precipitation



Rys. 4. Hydrogramy jednostkowe IUH zlewni cząstkowych dla opadu o prawdopodobieństwie p1%  
 Fig. 4. Unit hydrograms IUH of partial catchments for precipitation of p1%probability

### Hipotetyczne hydrogramy przepływów powodziowych

Na rysunku 5 przedstawiono hipotetyczne hydrogramy przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia p1% dla przekrojów obliczeniowych zlokalizowanych w miejscach projektowanych zapór czołowych.

Na podstawie przygotowanych danych wejściowych przy wykorzystaniu oprogramowania HEC-Hms wyznaczono objętości hipotetycznych fal wezbraniowych (rys. 5, tab. 3) w przekrojach obliczeniowych oraz zweryfikowano poprawność obliczeń równaniem bilansu masy.

### Zakres przeprowadzonych analiz

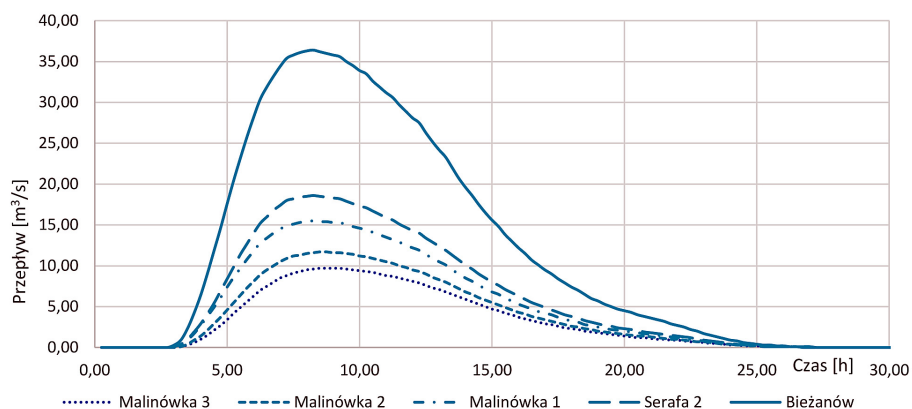
W ramach optymalizacji rozwiązań przeprowadzono analizy porównawcze dla kilku alternatywnych rozwiązań urządzeń zrzutowych oraz scenariuszy pracy kaskady dla różnych przepływów prawdopodobnych.

Wykorzystując pozyskane z IMGW dane o ekstremach opadowych z posterunku opadowego Siercza-Wieliczka (powodzie z lat 1997, 2010, 2011) zweryfikowano skuteczność przyjętych rozwiązań dla zdarzeń historycznych potwierdzając tym samym prawidłowość założeń projektowych.

Analizy wykonano przy użyciu oprogramowania HEC-Hms 4.1 (rys. 6).

Na potrzeby analiz hydraulicznych zbudowano jednowymiarowy model hydrauliczny ruchu ustalonego oraz dwuwymiarowy model hydrauliczny ruchu nieustalonego. Modele te opracowano w narzędziu HEC-Ras 5.0.1. Zostały one opracowane dla odcinka rzeki Serafa od km 3+464 do źródeł oraz dla jego lewostronnego dopływu – pot. Malinówka na odcinku w km od 3+611 do km 0+000 (ujście do Serafy).

Danymi wejściowymi do programu HEC-Ras były wyniki obliczeń przeprowadzonych w oprogramowaniu HEC-Hms.

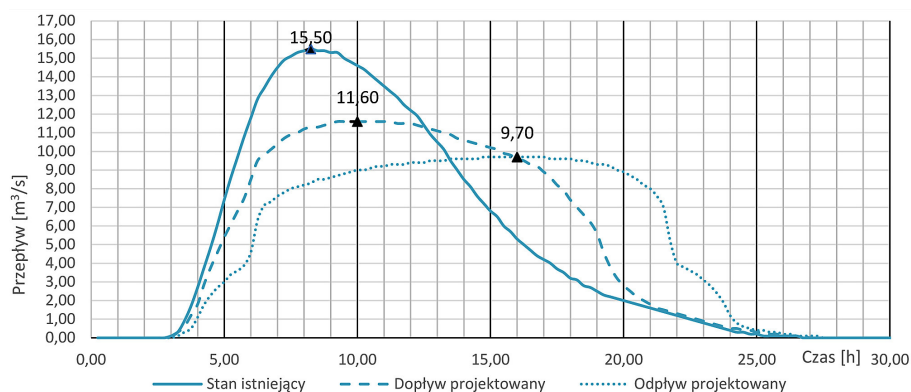


Rys. 5. Hipotetyczne hydrogramy wezbrania o prawdopodobieństwie przewyższenia p1% – stan istniejący  
 Fig. 5. Hypotetic freshet hydrograms of p1% superiority probability – existing situation



**Tabela 3.** Objętość fali wezbraniowej dla przepływu o prawdopodobieństwie p1%**Table 3.** Volume of freshet wave for flow of probability of p1%

Przekrój obliczeniowy	Rzeka	Kilometr rzeki	Zlewnia	Powierzchnia zlewni cząstkowej	Przepływ maksymalny	Objętość fali wezbraniowej	Objętość opadu	Retencja zlewni	Odpływ	Bilans masy
				km <sup>2</sup>						
Serafa 2	Serafa	9+223	Z04	9,94	18,60	659,1	1051,7	392,1	659,6	0
			Z05	1,26	2,50	82,8	133,3	50,8	82,5	0
Ujście Malinówki	Serafa	7+951	U4	11,20	21,10	741,9			742,1	0
Malinówka 3	Malinówka	3+017	Z01	5,66	9,70	352,1	598,8	246,7	352,1	0
			Z02	1,16	2,10	70,1	122,7	52,6	70,1	0
Malinówka 2	Malinówka	2+320	U1	6,82	11,80	422,2			422,2	0
			Z03	2,05	4,00	135,1	216,9	82	134,9	0
Malinówka 1	Malinówka	0+220	U2	8,87	15,80	557,3			557,1	0
Serafa 1 (Biezanów)	Serafa	7+284	U3	20,07	36,90	1 299,1			1 299,2	0
Wały Biezanów	Serafa	7+284 do 3+464	odpływ	20,07	36,90	1 299,1			1 299,2	0

**Rys. 6.** Przykładowe hydrogramy wezbrania powodziowego p1% dla zbiornika Malinówka 1 (HEC-Hms)**Fig. 6.** Sample hydrograms of p1% flood freshet for Malinówka 1 reservoir (HEC-Hms)

## Numeryczny model hydrauliczny 2D

Dwuwymiarowy model hydrauliczny w programie HEC-RAS zbudowano w oparciu o numeryczny model terenu (rys. 7) będący wynikiem pomiarów terenowych oraz opracowania dostępnych map w miejscach poza obszarem inwestycji.

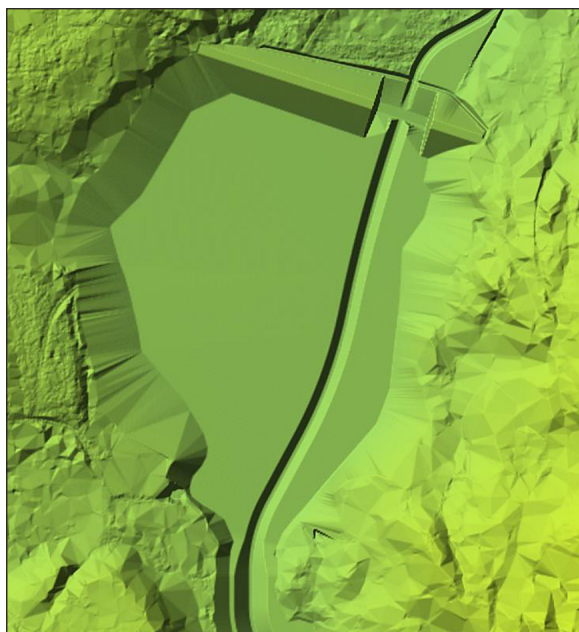
Na podstawie numerycznego modelu terenu wykreślono poligony zamknięte reprezentujące projektowane suche zbiorniki retencyjne (*Storage Area*) oraz obszary przepływu dwuwymiarowego (*2D Flow Area*).

Dla obszarów przepływu dwuwymiarowego, tj. obszarów pomiędzy projektowanymi zbiornikami oraz w miejscu projektowanych wałów (poniżej zbiornika „Biezanów”) wykreślono linie nieciągłości będące odwzorowaniem istniejących brzegów. Wynikiem tego zabiegu jest utrzymanie wody w korycie cieką aż do momentu samoistnego wylania. Następnie wygenerowano siatki ob-

liczeniowe (tab. 4, rys. 8) złożone z wieloboków o maksymalnej liczbie boków równej 8.

Dla poszczególnych obszarów suchych zbiorników retencyjnych wprowadzono krzywe napełnienia uzyskane z NMT. Połączenia obszarów przepływu dwuwymiarowego oraz obszarów zbiorników dokonano za pomocą *Storage Area/2D Flow Area Connection*. Połączenie to równocześnie w większości przypadków reprezentowało sekcję upustowo-przelewową projektowanych i istniejących obiektów. W ten sam sposób zaimplementowano również projektowane obwałowanie poniżej zbiornika „Biezanów”. W trakcie prac weryfikowano przyjęte schematy pracy urządzeń zrzutowych na poszczególnych obiektach kaskady (rys. 9) oraz optymalizowano czasy otwarcia zamknięć dla uzyskania maksymalnej pojemności retencyjnej kaskady (tab. 5).

Po optymalizacji uzyskano kompletne informacje niezbędne do stworzenia Instrukcji gospo-

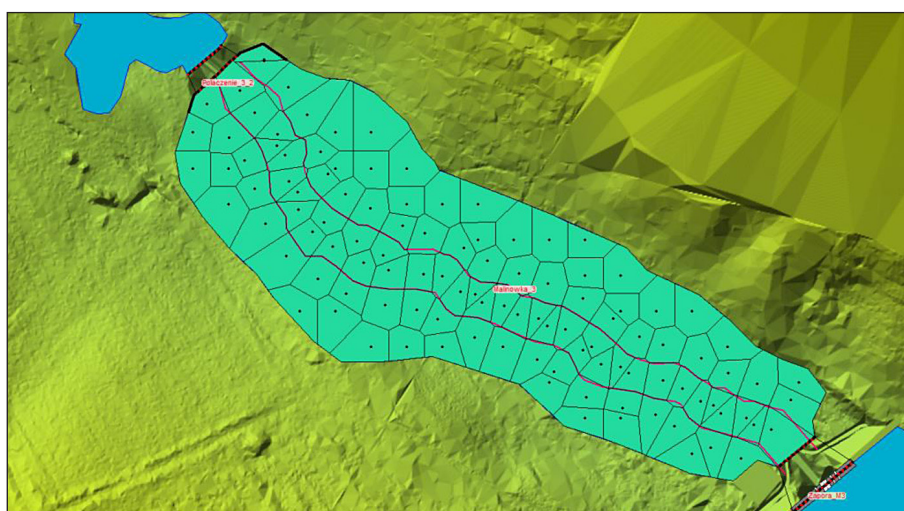


**Rys. 7.** Numeryczny Model Terenu – wizualizacja zbiornika „Malinówka 2”  
**Fig. 7.** Digital Terrain Model – visualisation of „Malinówka 2” reservoir

**Tabela 4.** Parametry poszczególnych siatek obliczeniowych dla obszarów przepływu dwuwymiarowego

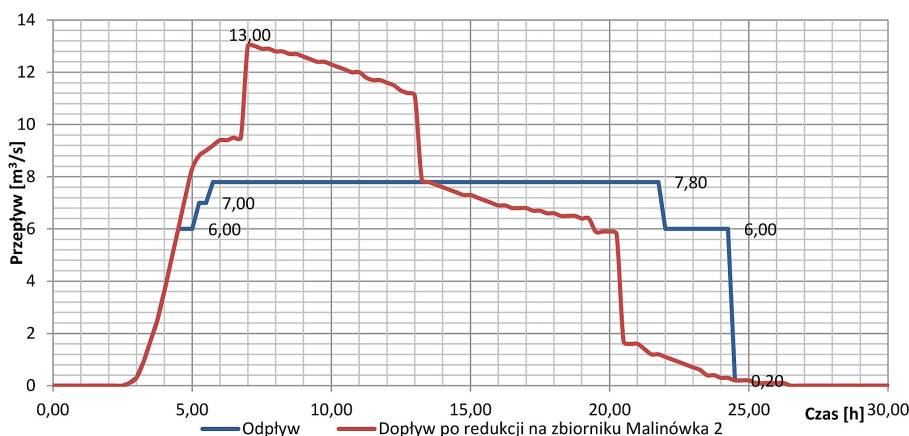
**Table 4.** Parameters individual calculation grids for two-dimension flow areas

Wyszczególnienie	Jednostka	Odcinek pomiędzy			Wały Biezańów
		Malinówka 3 a Malinówka 2	Malinówka 2 a Malinówka 1	Serafa 2, pomiędzy Malinówką 1 oraz Zbiornikiem Biezańów	
Ilość komórek w siatce	[–]	113	2074	2006	11 542
Maksymalna powierzchnia komórki	[m <sup>2</sup> ]	462	179	484	19
Minimalna powierzchnia komórki	[m <sup>2</sup> ]	77	37	34	3
Średnia powierzchnia komórek	[m <sup>2</sup> ]	192	96	218	9



**Rys. 8.** Wizualizacja numerycznego modelu terenu wraz z siatką obliczeniową dla obszaru pomiędzy zbiornikiem „Malinówka-3”, a zbiornikiem „Malinówka-2”

**Fig. 8.** Visualisation of digital terrain model with calculation grid for area between „Malinówka-3” and „Malinówka-2” reservoir



Rys. 9. Przyjęty schemat pracy zbiornika Malinówka 1 przy przepływie  $Q_{1\%}$   
 Fig. 9. Adopted work scheme of Malinówka 1 reservoir at  $Q_{1\%}$  flow

Tabela 5. Zestawienie wyników symulacji pracy kaskady dla  $Q_{1\%}$   
 Table 5. Presentation of results of cascade work simulation at  $Q_{1\%}$

Zbiornik	Kilometr rzeki	NPP	Korona	Przepływ $Q_{1\%}$	Redukcja przepływu	Wydatek upustu dennego	Otwarcie										Objętość w zbiorniku		
							rurociąg 1		rurociąg 2		rurociąg 3		rurociąg 4		powłoka		otwarcie	maksymalnie	zamknięcie
							rzędna	czas	rzędna	czas	rzędna	czas	rzędna	czas	rzędna	czas			
Bieżanów	7+284	210,0	210,7	36,9	22,0	14	-	-	-	-	-	-	-	-	208,5*	9,5	60	165,2	125,0
Serafa 2	9+223	220,2	220,9	18,6	16,9	8	218,98	8,7	219,2	6,5	219,45	6	-	-	-	-	10	26,6	10,0
Malinówka 1	0+220	216,5	217,2	15,8	13,0	6	213,7	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	8	113,0	53,0
Malinówka 2	2+320	229,5	230,2	11,8	9,7	5,5	227,7	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	12	45,7	18,0
Malinówka 3	3+017	235	235,7	9,7	7,6	4,1	232,5	11	-	-	-	-	-	-	-	-	6	36,0	3,0

\* – rzędna pierwszego obniżenia powłoki

darowania wodą oraz Instrukcji eksploatacji dla poszczególnych zbiorników oraz całej kaskady. Stwierdzono również potrzebę, po analizie zdarzeń historycznych, dodatkowego zabezpieczenia kaskady przed pojawieniem się powtórnego opadu nawalnego oraz opadów o długim czasie trwania. W związku z powyższym powzięto decyzje o wykonaniu automatycznego postępowania opadowego dla kontroli zlewni pod względem natężenia i wielkości opadu z możliwością sterowania wszystkimi zbiornikami kaskady.

Dla przeprowadzenia wezbrania o prawdopodobieństwie przewyższenia  $p_{1\%}$  wymagane jest uruchomienie dodatkowych urządzeń zrzutowych poza upustem dennym, a szacowany czas pracy zbiorników waha się od 8 do 16,5 godziny (tab. 5). Po optymalizacji zadany przepływ  $Q_{1\%}$  zredukowany jest do przepływu na poziomie  $\sim Q_{p7\%}$  to jest w przybliżeniu zakładanej wodzie brzegowej i poprawia sprawność całej kaskady.

## PODSUMOWANIE

Zastosowany schemat obliczeniowy wykazał iż często stosowane do celów projektowych obliczenia samymi wzorami empirycznymi przepływu w kulminacji to za mało, aby wystarczająco precyzyjnie przeanalizować i dobrać sposób gospodarowania wodą na zbiorniku retencyjnym o pojemności  $\sim 100$  tys  $m^3$ , a bardzo trudne staje się to w przypadku kaskady utworzonej z kilku takich zbiorników. Również same wzory z powodu swej „empiryczności” wymagają dużej ostrożności i wyczucia w stosowaniu. Mogą one posłużyć jako punkt wyjścia w obliczeniach. Tylko hydrogram przedstawiający zmienność zjawiska w czasie pozwala w pełni zweryfikować poprawność przyjętych założeń projektowych oraz zasymulować prace zbiornika (zbiorników) przeciwpowodziowych.



Przedstawiona metodyka, zdaniem autorów, przybliża powszechnie stosowane na świecie metody obliczania hydrogramów odpływu modelem typu opad–odpływ i umożliwia obliczenia w zlewniach silnie zurbanizowanych, w przypadku których wzory empiryczne nie są zalecane.

## LITERATURA

1. AdEko, 2011. Program zwiększenia zabezpieczenia powodziowego w dolinie rzeki Serafy m. Kraków, gm. Kraków, pow. miasto Kraków, m. Brzegi, Kokotów, Wieliczka, gm. Wieliczka, pow. Wielicki. Kraków.
2. Byczkowski A., 1984. Hydrologiczne podstawy projektowania budowli wodnomelioracyjnych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
3. Ciepeliowski A., Dąbkowski S., 2006. Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych. Projprzemeko, Bydgoszcz.
4. Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994. Hydrologia stosowana. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
5. Soczyńska U., 1997. Hydrologia dynamiczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
6. Stachy J., 1987. Atlas hydrologiczny Polski, IMGW. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
7. Stowarzyszenie Hydrologów Polskich, 2009. Metodyka obliczania przepływów i opadów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla zlewni kontrolowanych i niekontrolowanych oraz identyfikacji modeli transformacji opadu w odpływ. Warszawa.
8. US Army Corps of Engineers, 2002. HEC-RAS River Analysis System, Applications Guide. Hydrologic Engineering Center.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 86, Poz. 579).
10. Plan Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Wieliczka.